

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang Masalah

Superkonduktor merupakan bahan yang unik dibandingkan dengan bahan lain, yakni terkait sifat kelistrikan dan kemagnetannya. Bahan superkonduktor diketahui memiliki hambatan nol saat didinginkan sampai berada dibawah suhu kritis  $T_c$  (*critical temperature*). Fenomena hambatan nol inilah yang biasa disebut dengan sifat superkonduktivitas superkonduktor (Barba *dkk*, 2008). Selama masih berada dibawah suhu kritis ternyata bahan superkonduktor juga diketahui menolak seluruh medan magnet luar yang mengenainya asalkan besar medan magnet luar  $H_{ext}$  tersebut tidak melebihi batas harga tertentu, sering disebut dengan medan magnet kritis  $H_c$  (*critical field*). Fenomena seperti demikian disebut dengan *efek Meissner* (Cyrot-Pavuna, 1992). Setiap bahan superkonduktor memiliki harga medan kritis  $H_c$  dan suhu kritis  $T_c$  tertentu, yakni berbeda antara satu sama lain. Dengan sifatnya yang memiliki hambatan nol tersebut, maka bahan superkonduktor berpotensi besar untuk dikembangkan dalam teknologi transmisi listrik dengan energi disipasi yang sangat rendah. Selain itu, bahan superkonduktor juga sangat berpotensi untuk diterapkan sebagai bahan penyusun kumparan levitasi magnet (*magnetic levitating*) untuk kereta api berkecepatan tinggi (Cyrot-Pavuna, 1992).

Pada tahun 1957, Aleie Abrikosov mempelajari perilaku superkonduktor saat berada dibawah pengaruh medan magnet  $H_{ext}$ , dari hasil penelitiannya disebutkan bahwa superkonduktor dapat dikelompokkan dalam dua tipe yaitu superkonduktor tipe-I dan superkonduktor tipe-II. Bahan superkonduktor tipe-I hanya mampu mempertahankan sifat superkonduktivitasnya saat medan magnet luar yang mengenai tidak melebihi batas harga tertentu, disebut juga dengan medan kritis bawah  $H_{c1}$ . Sebaliknya apabila medan magnet yang mengenai berharga sama atau lebih besar dari medan kritis  $H_{c1}$  ( $H_{ext} \geq H_{c1}$ ) maka sifat superkonduktivitas bahan akan hilang (Cyrot-Pavuna, 1992). Sedangkan pada superkonduktor tipe-II sifat superkonduktivitasnya mampu dipertahankan sampai

pada medan kritis yang lebih tinggi yaitu sampai medan kritis atas  $H_{c2}$  untuk bahan gumpalan atau sampai medan kritis permukaan  $H_{c3}$  untuk bahan berukuran mesoskopik (*mesoscopic*), yakni bahan yang memiliki ukuran berkisar 10nm sampai dengan 100nm (Wisodo, 2004). Pada superkonduktor tipe-II akan bersifat sama dengan superkonduktor tipe-I apabila dikenai medan magnet luar  $H_{ext}$  yang berharga dibawah medan kritis  $H_{c1}$  sedangkan saat dikenai medan magnet luar  $H_{ext}$  yang berharga antara  $H_{c1}$  dan  $H_{c2}$  maka akan terjadi terobosan fluks medan magnet dalam daerah terbatas dan dikelilingi oleh daerah yang masih dalam keadaan superkonduktivitas atau sering disebut dengan istilah vorteks (*vortex*) (Anwar dkk, 2015; Barba dkk, 2013; Wisodo dkk, 2004). Untuk bahan mesoskopik, apabila dikenai medan magnet luar  $H_{ext}$  berharga  $H_{c2}$  sampai dengan  $H_{c3}$  ( $H_{c2} \leq H_{ext} < H_{c3}$ ) sifat superkonduktivitas bahan hanya akan terjadi dipermukaannya saja (Anwar dkk, 2008; Barba dkk, 2009).

Pada tahun 1950 Vitaly Ginzburg dan Lev Landau mengajukan suatu teori untuk menjelaskan fenomena superkonduktivitas bahan superkonduktor. Dalam teorinya, Ginzburg dan Landau memperkenalkan istilah parameter benahan (*order parameter*)  $\psi$ . Parameter benahan  $\psi$  inilah yang dianggap bertanggung jawab atas terjadinya sifat superkonduktivitas dari suatu bahan superkonduktor. Dari teori tersebut, diketahui dua persamaan fundamental yakni dikenal sebagai persamaan *Ginzburg-Landau* (GL) pertama dan kedua. Selain itu, evolusi waktu terhadap persamaan GL dalam upaya memahami keadaan transien dan evolusi sistem menuju kesetimbangan dikenal dengan persamaan *Time-Dependent Ginzburg Landau* (TDGL) (Wisodo dkk, 2004). Persamaan TDGL memegang peranan penting dalam upaya memahami konfigurasi dan dinamika parameter benahan  $\psi$  superkonduktor, khususnya untuk superkonduktor tipe-II.

Persamaan TDGL diketahui bersifat tak linier serta terkopel, sehingga tidak mudah untuk menyelesaikannya secara analitik. Maka alternatifnya adalah diselesaikan secara komputasi numerik. Terdapat beberapa metode komputasi numerik yang dapat digunakan dalam upaya menyelesaikan persamaan TDGL salah satunya dengan menggunakan metode  $\psi$ - $U$  (Anwar dkk, 2013; Barba dkk, 2013). Pada penelitian (Anwar dkk, 2013; Buscaglia dkk, 1999; Wisodo dkk,

2004), diketahui bahwa komputasi numerik terhadap superkonduktor mesoskopik tipe-II berbentuk persegi berdasarkan model Ginzburg-Landau yang diselesaikan dengan menggunakan metode  $\psi$ - $U$  menunjukkan hasil perhitungan yang tetap konvergen ketika medan magnet luar  $H_{ext}$  dinaikkan sampai tinggi. Metode  $\psi$ - $U$  yang dimaksud menggunakan metode Euler untuk pendekatan beda hingga (*finite difference*) bagi turunan terhadap waktu pada besaran yang ada dalam persamaan TDGL.

Pada keadaan nyata, pemanfaatan superkonduktor dalam teknologi hampir selalu ditemui berbatasan dengan bahan lain, baik itu dengan superkonduktor maupun bahan normal (biasa). Hal ini memungkinkan adanya perubahan fenomena superkonduktivitas di bagian batas superkonduktor, biasa disebut dengan efek Proksimitas. De Gennes memperkenalkan besaran baru yang biasa disebut dengan panjang ekstrapolasi  $b$  untuk menjelaskan hal tersebut (Barba *dkk*, 2013, Wisodo, 2004).

Secara teoritis, besaran  $b$  berharga positif ketika superkonduktor berbatasan dengan logam sehingga menyebabkan sifat superkonduktivitas menjadi tertekan. Besaran  $b$  akan berharga negatif ketika superkonduktor berbatasan dengan superkonduktor lain yang mempunyai suhu kritis lebih tinggi, sehingga menyebabkan sifat superkonduktivitas menjadi meningkat (Barba *dkk*, 2007).

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian sebelumnya (Anwar, 2015; Buscaglia *dkk*, 1999; Barba *dkk*, 2008) diketahui bahwa besaran panjang ekstrapolasi  $b$  bahan yang berbatasan langsung dengan superkonduktor berpengaruh terhadap sifat-sifat magnet superkonduktor. Sifat magnet yang dimaksud ialah tanggap bahan superkonduktor terhadap medan magnet luar  $H_{ext}$ , saat berbatasan langsung dengan bahan lain yang memiliki harga panjang ekstrapolasi  $b$  tertentu (Anwar *dkk*, 2015; Barba *dkk*, 2008, Barba-Otega *dkk*, 2009).

Pada penelitian sebelumnya (Anwar *dkk*, 2015) telah dilakukan kajian numerik pengaruh harga panjang ekstrapolasi  $b$  terhadap sifat magnet superkonduktor, namun pada penelitian tersebut harga  $b$  yang dikaji masih terbatas. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan kajian numerik pengaruh

efek proksimitas terhadap sifat magnet bahan superkonduktor mesoskopik tipe-II berbentuk dengan ukuran  $3\xi \times 3\xi$ ,  $6\xi \times 6\xi$  dan  $16\xi \times 16\xi$  untuk harga  $k = 2$  pada berbagai harga panjang ekstrapolasi  $b$ . Pada penelitian ini, juga disajikan konfigurasi dan dinamika vorteks untuk memahami sifat-sifat magnet superkonduktor melalui proses terobosan medan magnet luar  $H_{ext}$  kedalam bahan.